

Министерство науки и высшего образования РФ  
Правительство города Севастополя  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»  
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук  
Русское географическое общество  
Паразитологическое общество при Российской академии наук

# Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

Международная научная конференция, посвящённая 150-летию  
Севастопольской биологической станции —  
Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского  
и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий»

Тезисы докладов

13–18 сентября 2021 г.  
Севастополь, Российская Федерация

Севастополь  
ФИЦ ИНБЮМ  
2021

## Кинетический аспект фосфорного обмена природной взвеси фотического слоя Чёрного моря на основе метода радиоактивных индикаторов

Поповичев В. Н.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

[popovichev@ukr.net](mailto:popovichev@ukr.net)

На современном этапе развития морской радиохемиологии, активно участвующей в решении многих гидробиологических задач, сформированы представления о единстве механизмов продуктивности и биотического кондиционирования среды в экосистемах фотической зоны морей и океанов. Для понятия специфики процесса первичного продуцирования органического вещества (далее — ОВ) в морской среде важное значение имеют исследования кинетических закономерностей минерального питания биоты. Скорость включения минерального фосфора в биотический круговорот является одной из существенных характеристик функционирования экосистем, однако измерение концентрации растворённого фосфата в природных водоёмах не даёт представления о доступности фосфора. Низкое его содержание в воде может означать, что или система истощена, или метаболизм её очень интенсивен, и понять ситуацию можно, только определив скорость потока вещества. Быстрый поток фосфора типичен для высокопродуктивных систем, и для поддержания высокой продукции органики скорость потока важнее, чем концентрация фосфата. Малый запас и высокая оборачиваемость минерального фосфата в зоне фотосинтеза пелагиали морских водоёмов приводят к тому, что развитие фитопланктона лимитируется скоростью его потока в сообществе, а не абсолютной его концентрацией, являющейся результирующей динамического равновесия процессов его потребления планктонным сообществом, с одной стороны, и его поставки за счёт физических процессов водообмена и биологических процессов регенерации — с другой [Сорокин, 1985]. Одним из современных подходов к изучению потока фосфора в морских экосистемах и оценке его лимитирующей роли в процессах продуцирования ОВ является сочетание аналитических методов определения содержания минерального фосфора в морской среде, метода радиоактивных индикаторов в экспериментальных условиях и анализа наблюдений на основе теоретических представлений о фосфорном метаболизме морских организмов [Пархоменко и др., 1983 ; Егоров и др., 1992 ; Поповичев, Егоров, 2000, 2003, 2008].

Целью данной работы было экспериментальное изучение кинетических закономерностей поглощения минерального фосфора взвешенным веществом фотической зоны Чёрного моря с использованием фосфора-32 ( $^{32}\text{P}$ ) в качестве радиоактивной метки, выполняемое в условиях, близких *in situ*, в рейсах НИС «Профессор Водяницкий» (№ 25, 28, 31, 36, 38, 45, 48, 49 и 55).

Известно, что абиотические компоненты взвесей взаимодействуют с минеральным фосфором в морской среде сорбционно. У одноклеточных водорослей и бактериопланктона взаимодействие с фосфатами осуществляется в результате одновременно протекающих сорбционных и метаболических процессов, поэтому при исследовании фосфорного обмена морской взвеси для выделения метаболических процессов на фоне сорбционных применяют ферментативные яды, которые полностью выключают ферментативную систему биоты. И хотя эти яды, убивая планктонные организмы, воздействуют и на их сорбционные свойства, разница в динамике процессов часто используется для качественной оценки фосфорного обмена биотического компонента взвеси [Баринов, 1970 ; Поповичев, Егоров, 2000, 2003, 2008 ; Поповичев, 2021].

Вместе с тем важно отметить, что, несмотря на высокую чувствительность радиоиндикаторного метода, основанного на предположении, что стабильный и радиоактивный изотопы химически неразличимы, его недостатком, применительно к исследованиям фосфорного обмена микропланктонным сообществом, является недоучёт выводимого из биоты радиофосфора, зависящий как от продолжительности опыта, так и от физиологического состояния организмов [Пархоменко и др., 1983].

Изучение кинетических закономерностей накопления  $^{32}\text{P}$  природной взвесью из фотической зоны западной акватории Чёрного моря показало, что со взвесями было связано до 80 % фосфора, находящегося первоначально в воде в минеральной форме. Стационарность системы взвешенное вещество —  $^{32}\text{P}$  в воде наступала через 15–20 ч, при этом разность между уровнями поглощения  $^{32}\text{P}$  в экспериментах без добавок сулемы, а также с добавками сулемы, используемой в качестве ферментативного яда, достигала 70 %. Это свидетельствовало о превалировании биотических процессов во взаимодействии взвешенного вещества с минеральным фосфором водной среды над сорбционными [Поповичев, Егоров, 2008].

Получение кинетической кривой накопления  $^{32}\text{P}$  взвесью позволило определить оптимальную экспозицию в экспериментах по оценке скорости биотического и сорбционного обмена минерального фосфора взвешенным веществом, т. е. время, в течение которого скорость накопления  $^{32}\text{P}$  взвесью ещё была близка к скорости поглощения ею минерального фосфора. Это время характеризовалось практически линейным отрезком на кинетической кривой, и в наших исследованиях оно определялось 2–3 ч.

В процессе проведения экспериментов с  $^{32}\text{P}$  также нами были получены интегральные и дифференциальные оценки скорости поглощения минерального фосфора. Понятие «интегральной» оценки вытекает из того, что процесс накопления радиофосфора взвесью является результирующим процессов его поглощения и выведения, а понятие «дифференциальная» оценка отражает изменение скорости его поглощения в ходе эксперимента. Следует также отметить, что при постановке экспериментов с пробой воды, содержащей взвесь, мы открытую естественную систему взвесь — вода моделируем искусственной замкнутой системой, накладывая на обменные процессы в естественной системе пространственные, температурные и световые ограничения. Отсюда: если фосфатное лимитирование этих процессов в открытой системе будет в какой-то степени компенсировано или сглажено притоком минерального фосфора из окружающего пространства (аут- или апвеллинг, адвекция), то в замкнутой системе (в отсутствие притока фосфора извне) будет осуществляться перераспределение фосфатного пула, и этот процесс отличается от естественного. В связи с этим исследователи стремятся поставить эксперименты в условиях, близких *in situ*, а если это затруднительно, то для выполнения требований балансового подхода [Егоров, 1987] — максимально полно описать все накладываемые на моделируемую систему ограничительные условия и фиксировать динамические параметры такой эмпирической модели.

Закключение: в процессе создания ОВ первичными продуцентами водной среды минеральный фосфор включается в биологический круговорот, об интенсивности которого можно судить по кинетическим характеристикам. Важным показателем фосфорного обмена является скорость его поглощения биотическим компонентом взвешенного вещества — живыми планктонными организмами. Вместе с тем связь продукционного процесса с фосфорным обменом имеет неоднозначный характер [Винберг, Ляхнович, 1965]: в малопродуктивных водоёмах скорости обмена могут быть низкими, а в высокопродуктивных — высокими даже при одинаковых концентрациях фосфора в воде. Количественная оценка процесса обмена фосфором между компонентами экосистемы необходима для понимания внутреннего баланса этого элемента в водоёмах.

*Работа выполнена по теме государственного задания ФИЦ ИнБЮМ № 121031500515-8.*